

логического контроля, а также при обосновании необходимого комплекса природоохранных мероприятий и принятии управленческих решений по его реализации.

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році. – К.: Вид-во Равського, 2001 – 184 с.

2. Киселев А.Ф., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. – СПб., 1997. – 100 с.

3. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П. та ін. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України – К., 2001. – 48 с.

Получено 26.09.2002

УДК 621.175 : 627.81

А.П.НЕТЮХАЙЛО, д-р техн. наук, А.О.ТЕРТИЧНЫЙ
Харьковский государственный технический университет
строительства и архитектуры

О ПРИМЕНЕНИИ ПЛАВАЮЩИХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ В РАБОТЕ ТЭС И АЭС

Рассматриваются плавающие охлаждающие устройства, входящие в состав комбинированной системы охлаждения. Приводятся примеры использования брызгальной системы охлаждения (БСО) для водохранилищ-охладителей.

Для охлаждения циркуляционной воды на ТЭС и АЭС могут применяться различные технические устройства. Одним из таких устройств является БСО. Возможны два принципиально разных конструктивных варианта БСО, размещенных на акватории водохранилища. В первом случае на брызгальные охладители вода подается непосредственно после конденсаторов турбин. Распределительные трубопроводы и брызгальные устройства укладывают на свайные опоры или на плавучее основание: при небольшой глубине водохранилища-охладителя и спокойном рельефе дна можно применять свайные опоры, при большой глубине водохранилища-охладителя или сложном рельефе дна используется плавающее основание. Во втором случае воду забирают с поверхностного слоя водохранилища и разбрызгивают в этой же зоне водохранилища. Такие брызгальные устройства обычно устанавливают на плавающее основание. Преимуществом их являются отсутствие подводных трубопроводов горячей воды, мобильность, они могут быть переведены на любой участок водохранилища. Для краткости первый конструктивный вариант БСО назовем стационарным, второй – плавающим.

Оба конструктивных решения имеют свои положительные стороны и недостатки. Поэтому для выбора варианта расположения БСО необходимо оценить охлаждающую способность

комбинированной системы, состоящей из водохранилища-охладителя (ВО) и БСО.

Для расчета поля скорости течения в водохранилище-охладителе со стационарно установленной на его акватории БСО используем модифицированную систему уравнений Сен-Венана:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} + T = 0, \quad (1)$$

где U, F, G, T – векторы;

$$U = \begin{bmatrix} uh \\ vh \\ h \end{bmatrix}; \quad F = \begin{bmatrix} u^2 h + g \frac{h^2}{2} \\ uvh \\ uh \end{bmatrix}; \quad G = \begin{bmatrix} uvh \\ v^2 h + g \frac{h^2}{2} \\ vh \end{bmatrix}; \quad (2,3,4)$$

$$T = \begin{bmatrix} ghI_{ox} - \frac{1}{\rho}(\tau_{Hx} - \tau_{ox}) + u \cdot Q_{ist} \delta_{\Omega} \\ ghI_{oy} - \frac{1}{\rho}(\tau_{Hy} - \tau_{oy}) + v \cdot Q_{ist} \delta_{\Omega} \\ Q_{ist} \delta_{\Omega} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где u, v – осредненные по глубине компоненты скорости течения соответственно в x и y направлениях; h – глубина; J_{ox}, J_{oy} – уклон дна в x и y направлениях; τ_{Hx}, τ_{Hy} – составляющие силы трения на свободной поверхности; τ_{ox}, τ_{oy} – составляющие силы гидравлического трения на дне; Q_{ist} – расход воды брызгального бассейна; δ_{Ω} – площадная дельта-функция, вводимая аналогично дельта-функции Дирака.

Граничные и начальные условия системы уравнений (1) общепринятые для данного класса задач и приведены в [2].

В уравнении (5) члены вида $u \cdot Q_{ist} \delta_{\Omega}$ и $v \cdot Q_{ist} \delta_{\Omega}$ учитывают влияние дополнительного импульса в x и y направлениях, вызываемого поступающей водой из БСО. Как показали результаты численных экспериментов, влияние этих членов малое и в ряде случаев ими можно пренебречь. Слагаемое $Q_{ist} \delta_{\Omega}$ в уравнении неразрывности учи-

тывает влияние дополнительной массы воды, поступающей в водохранилище от БСО. Влияние БСО на динамику течений в основном описывается именно этим членом.

При плановой постановке задачи плавающая БСО не влияет на поле скоростей течений водохранилища. Для его расчета используется классическая система уравнений Сен-Венана ($Q_{ist} = 0$).

Поле температур водохранилища-охладителя с расположенной на его зеркале БСО рассчитываем с использованием модифицированного планового уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(h \cdot D \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \right) + \frac{G_H}{h} + \frac{Q_{ist} \delta \Omega (\Theta - \theta)}{h}, \quad i=1, 2, \quad (6)$$

где $\theta = \theta(x, y)$ – расчетная температура воды в водохранилище-охладителе; G_H – поток тепла через свободную поверхность; Θ – температура воды на выходе из брызгального модуля, определяемая балансовым методом, описанным в [1]. Основной эмпирической характеристикой охладителя является число испарения $K_{и}$. Оно имеет вид

$$K_{и} = \frac{t_1 - \Theta}{0,4t_c - \frac{r_{tc} P_{tc}}{C_{ж} P_a} - 0,4t_b - \varphi \frac{r_{tb} P_{tb}}{C_{ж} P_a}}, \quad (7)$$

где $C_{ж}$ – теплоемкость воды; t_1 – температура горячей воды, подаваемой к брызгальным установкам; t_b – температура воздуха; φ – относительная влажность воздуха; P_a – атмосферное давление; r_{tc}, r_{tb} – теплота парообразования соответственно при температуре t_c и t_b ; P_{tc}, P_{tb} – давление насыщенного пара соответственно при температуре t_c и t_b ; t_c – средняя температура, равная $t_c = (t_1 + \Theta) / 2$.

Для систем охлаждения со стационарной БСО температура t_1 воды, подаваемой на БСО, равна температуре воды на входе в водохранилище-охладитель. Температура Θ воды на выходе из брызгального модуля постоянная и не изменяется во время расчета поля температур охлаждающей системы.

Для систем с плавающей БСО температура t_1 принимается рав-

ной температуре воды водохранилища в точке ее забора $t_1 = \theta(x, y)$.

Температура воды на выходе из брызгального модуля Θ зависит от места расположения БСО.

Расчет охлаждающей способности комбинированной системы охлаждения со стационарной БСО производится в три этапа [2]. На первом этапе выполняется термический расчет БСО, на втором – рассчитывается поле скоростей водохранилища, на третьем – поле температур.

Для комбинированной системы охлаждения с плавающей БСО расчет осуществляется в два этапа. На первом этапе рассчитывается поле скорости течения водохранилища без учета БСО, на втором – производится расчет поля температур водохранилища совместно с термическим расчетом БСО. Для этого решается система уравнений (6) и (7).

Использование комбинированной системы ВО-БСО удобно оценить введением безразмерного коэффициента эффективности системы $K_{\text{эф}}^*$ [2].

Рассмотрим водохранилища-охладители конической и круглой формы, параметры которых описаны в [2]. Результаты расчета системы охлаждения со стационарной БСО приведены в предыдущей статье авторов [2]. В данной работе представлены результаты расчета $K_{\text{эф}}^*$ для комбинированной системы охлаждения с плавающей БСО (рис.1, 2).

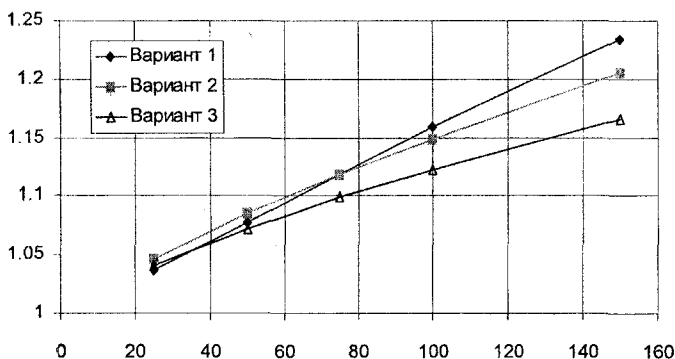


Рис.1 – Коэффициент эффективности комбинированной системы охлаждения ВО - БСО при различных вариантах расположения плавающей БСО для водохранилища конической формы

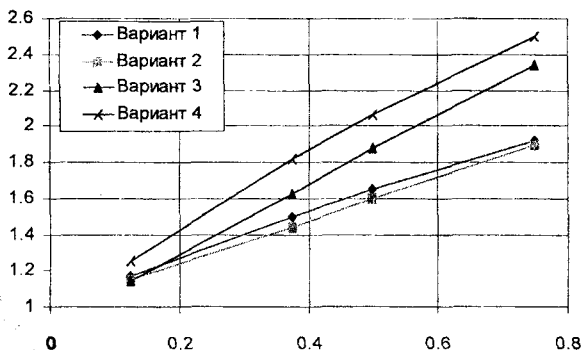


Рис. 2 – Коэффициент эффективности комбинированной системы охлаждения ВО – БСО при различных вариантах расположения плавающей БСО для водохранилища круглой формы

Как видно из приведенных выше графиков, при уменьшении $Q_{\text{БСО}} / Q_{\Sigma}$ коэффициент эффективности $k_{\text{эф}}^*$ стремится к 1. С возрастанием $Q_{\text{БСО}} / Q_{\Sigma}$ увеличивается и $k_{\text{эф}}^*$. В то же время характер этого увеличения зависит от расположения БСО.

Сравнивая результаты расчетов, приведенные в настоящей и ранее опубликованной статье [2], можно сделать вывод, что плавающие БСО целесообразно располагать в областях с высокими скоростями и повышенной температурой воды; стационарные БСО предпочтительнее размещать в областях с застойными и водоворотными зонами или в зонах малых скоростей течений.

Более точный прогноз применимости того или иного варианта БСО и выбора места его расположения возможен лишь при решении рассмотренной выше термодинамической задачи работы комбинированной системы охлаждения ТЭС и АЭС.

1. Гельфанд Р.Е. Метод теплового расчета брызгальных установок с использованием числа испарения // Изв. ВНИИГ им. Б.В. Веденеева. Т.143. – М., 1980. – С. 38-43.

2. Непухайло А.П., Тертичный А.О. Распределение расходов между водохранилищем-охладителем и брызгальной системой охлаждения при их совместной работе // Науковий вісник будівництва. Вип. 18. – Харків: ХДТУБА, 2002. – С. 297-302.

Получено 26.09.2002